



Предварительные результаты апробации «хромостратиграфического» метода в изучении келловей в опорном разрезе у д. Черменино (р. Унжа, Кологривский район)

Киселев Д.Н., Охупкина Е.А.

Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, Россия; dnkiselev@mail.ru

Preliminary results of "chromostratigraphic" method approvals for the studying of the Callovian in the Tchermenino reference section (Unzha river, Kologriv area)

Kiselev D.N., Ohupkina E.A.

Yaroslavl State Pedagogical University, Yaroslavl, Russia

Цвет является важнейшей характеристикой геологических тел самого разного масштаба, от горной породы до стратиграфических единиц крупного ранга, однако точное количественное описание цветовых признаков еще не нашло широкого применения в практике литолого-стратиграфических исследований. Обычно при стратиграфических описаниях используется образно-понятийная характеристика цвета, которая не имеет решающего значения при дифференциации литологических толщ, их корреляции и палеогеографическом анализе. По сравнению с другими методами изучения литостратиграфических единиц (гранулометрический, минералогический, петромагнитный, химический) эта характеристика имеет лишь вспомогательное значение. Априори принято считать, что цвет есть производная химического и минералогического состава горных пород, хотя на самом деле это *сложная эмерджентная характеристика*, которая не однозначно коррелируется с другими литологическими признаками.

Цель данного исследования – разработка такого метода количественного описания цвета осадочных слоев, который позволил бы максимально точно и унифицировано определять цвет пород, более эффективно выявлять специфические седиментологические события в стратиграфической последовательности, дифференцировать стратиграфические единицы и, по возможности, осуществлять их корреляцию по цветовым признакам. Этот метод мо-

жет (и на наш взгляд должен) войти в когорту стандартных методов литологии и литостратиграфии.

Существует несколько подходов к количественному описанию цвета горных пород, преследующих различные задачи: классификацию и диагностику горных пород (Lepisto et al., 2003 и др.; Motoki et al., 2003 и др.), диагностику породообразующих минералов в разрезе (Самодуров, 2008) и др. Каждый из них разработан под собственные задачи, поэтому для стратиграфических задач может быть использована лишь общая методическая основа.

Техническая основа точного определения цвета может быть сведена к двум группам методов:

1. *Абсолютная колориметрия*, или спектрофотометрия, основанная на изучении спектрального состава отраженных световых волн по квантово-механическим параметрам физического спектра, в первую очередь длины волны. Для измерения цвета используются оптические колориметры, применяющиеся в географических и геологических науках в самых разных направлениях, например в области минералообразования и петрогенеза магматических (Nagano et al., 1994), осадочных пород и почв.

2. *Относительная колориметрия* основана на использовании имитационных, не физических моделей цвета. Первая такая модель была разработана Альбертом Манселем, предложившим методику анализа цвета по измерениям цветовая гамма, яркость и насыщенности цвета (Munsell, 1912). Впоследствии данная цветовая модель получила широкое применение для цветоредакции и цветового анализа в компьютерной графике, обозначаемая как модель HSV (Hue - тон, Saturation - насыщен-

ность, Value - яркость). Данная модель является преобразованием модели RGB (R - красный, G - зеленый В -синий) (Wyszecski, Stiles, 1982), широко применяющаяся для цветоделения в графических редакторах.

Относительная колориметрия с использованием моделей HSV и RGB применяется геолого-географических науках лишь в последнее десятилетие, в основном европейскими и японскими авторами. Они используются преимущественно для классификации и определения горных пород по цветовым и текстурным особенностям (Lepisto et al., 2002; Lepisto, 2006; Motoki et al., 2003; 2007).

Методика и материал

В нашей работе количественное описание цвета основано на принципах относительной колориметрии, использовании цветовых моделей RGB (аддитивная), CMYK (субтрактивная) и HSB для решения стратиграфических, литологических и палеогеографических задач. Основные направления метода - выявить колебание параметров цветности и распознавание седиментологических событий в геологических разрезах, проведение корреляции геологических разрезов в пределах локальной территории. В подобном, «хромостратиграфическом», аспекте применение относительного колористического анализа, судя по литературе, еще не проводилось. Камеральная основа данной методики во многом близка технологии, используемой японскими авторами (Motoki et al., 2003), но не исключено, что в литературе описаны и более ранние вариации, не попавшие в поле нашего внимания.

Измерение и анализ цветовых характеристик включает следующие основные операции:

Сбор литологических образцов в геологическом разрезе через определенный интервал. Детальность сбора проб определяет адекватность линии тренда цветовых параметров.

Подготовка литологической пробы для измерения цветовых параметров. Для рыхлых и сцементированных, крупнообломочных пород подготовка пробы осуществляется по-разному.

Создание цифрового изображения образца в единых условиях освещения. В данном случае наиболее предпочтительно сканирование, позволяющее соблюсти единый цветовой баланс.

Программное измерение цветовых параметров сканированного изображения по цветовым моде-

лям. При изучении мелкообломочных пород необходимо создать однородный усредненный цвет, для чего используется программное размытие методом Гаусса.

Анализ цветовых параметров методами статистики и изучение трендовых кривых.

Корреляция параметров цвета с другими литологическими признаками (гранулометрическими, минералогическими и др.)

Объект настоящего исследования - опорный разрез келловейского яруса Кологривского района (Костромская обл.) у д. Черменино (правый берег р. Унжи). Ранее разрез изучался только палеонтологически (Киселев, 1999; статья Киселева в настоящем сборнике). Его детальное литологическое изучение проводится впервые авторами данной работы по полевым материалам, собранным в 2010 г.

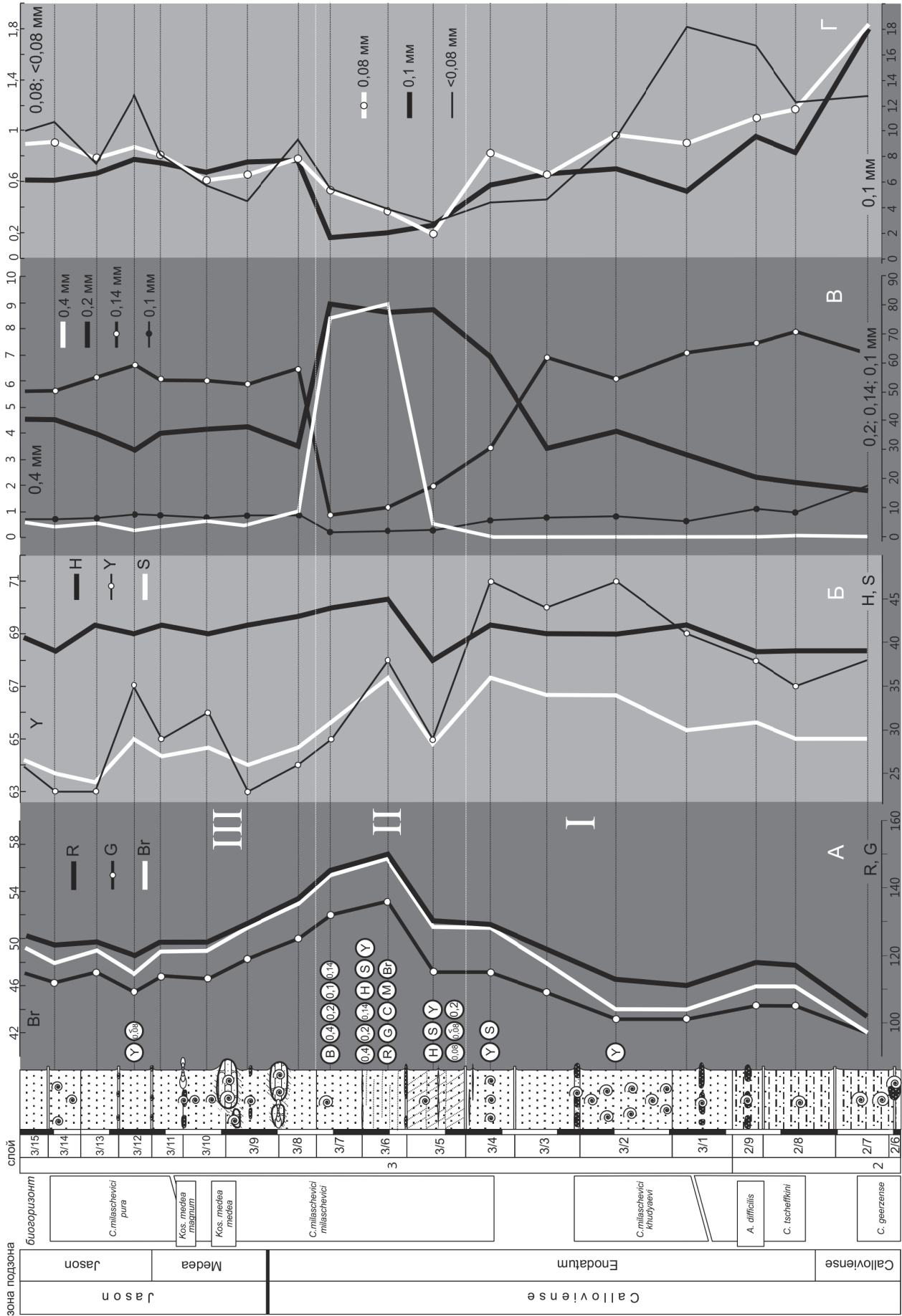
Разрез представлен толщей монотонных мелкозернистых песков нижнего – среднего келловя, мощностью около 20 м, с однородным строением, без существенных перерывов, внутри которой прослеживаются лишь слабые вариации литологических признаков (рис. 1). Цвет породы, в целом, желтовато-светло-серый, местами с кремовым оттенком.

В разрезе собрано 18 проб из 18 слоев (см. описание разреза в статье Киселева настоящего сборника), составляющих 16 метров верхней части разреза (нижние 4-5 м разреза были закрыты осыпью). Каждая проба изучалась колориметрически, по вышеописанной методике, после чего проводился гранулометрический анализ стандартным ситовым методом.

Колориметрический анализ проводился по всем вышеперечисленным цветовым моделям, однако среди них оказалась более удобна для целей нашего анализа модель HSB, поведение параметров которой в разрезе будет рассмотрено ниже. Остальные модели имеют вспомогательное значение.

Цветовой тон (Hue, H). Характеристика, означающая положение определяемого цвета внутри области цветового круга. Соответственно, единицей измерения является угловая величина в 1 градус. Минимальное значение 1 (начало цветового круга)

Рис. 1. Динамика колориметрических и гранулометрических показателей в разрезе келловя у д. Черменино. А – яркость (Br), красный (R) и зеленый (G) цвета; Б – цветовой тон (H), насыщенность (S) и желтый цвет (Y); В – псаммитовые и алевро-пелитовые гранулометрические фракции (в %); Г – алевро-пелитовые гранулометрические фракции (в %). I, II, III – нижняя, средняя и верхняя части разреза, выделенные по литологическим признакам. Белыми кружками обозначены критические уровни для различных литологических показателей. Обозначения литологической колонки см. в статье Киселева наст. материалов



находится в оранжево-красной области, 60 в желтой, 120 – зеленой, 180 – голубой, 240 – синей, 300 – фиолетовой, 360 – малиновой.

В разрезе Черменино значение *N* находится в диапазоне 39-45, т.е. в оранжево-желтой области спектра. Минимальные значения означают сдвиг в более красную область, максимальные – в желтую. «Красные» области занимают три части разреза: внизу (слои 2/6-2/9), середина (слой 3/5) и верх (слой 3/14), «желтые» - все остальные. Критические значения *N*, с максимальной амплитудой, наблюдается лишь в двух местах разреза – слоях 3/5 и 3/6. Такие участки разреза обозначены нами как критические уровни.

Насыщенность (Saturation, *S*). Степень интенсивности цветового тона по отношению к черному, серому и белому цветам, которые имеют минимальную насыщенность, равную 1. Максимальная насыщенность чистого спектрального цвета равна 100. Насыщенность цвета осадочных пород смешанного минералогического состава (в основном, обломочные или хемогенные) определяется количеством и соотношением пигментирующих минералов-хроматофоров, обладающих высокой насыщенностью в чистом виде. Соответственно, значение насыщенности может отражать содержание пигментов.

В разрезе Черменино значение *S* колеблется в интервале 24-36, что означает низкую насыщенность, близкую к серому цвету. Поэтому, с учетом значения *N*, цвет песков в разрезе следует определять в интервале от оранжево-серого до желто-серого.

Критический уровень по *S* наблюдается в слоях 3/5-3/6, для которых характерна и максимальная насыщенность. Эти же пачки характеризуются наиболее высокими значениями *N*, т.е. пиками желтизны. Это означает, что насыщенность породы определяется минералом желтого цвета. Этот вывод подтверждает поведение желтого цвета (*Y*) из цветовой модели СМΥК (рис. 1, Б): его критические уровни соответствуют таковым *S*. Также, это единственный цвет, из моделей RGB и СМΥК, который хорошо коррелируется с насыщенностью. Это видно по коэффициентам корреляции с *S* разных цветов: красного - 0,04; зеленого – 0,012; синего – 0,139; сине-зеленого – 0,133; пурпурного – 0,019 и желтого – 0,72.

Таким образом, насыщенность песков определяется содержанием желтого минерала, который является породообразующим. Единственным таким минералом является лимонит, что хорошо видно на микроснимках гранулометрической фракции 0,08 мм (рис. 2). Насыщенность чистого лимонита колеблется в пределах 85-100, т.е. в чистом виде имеет предельную насыщенность. Соответственно, содержание лимонита по параметру *S* можно вычислить.

В целом, нижняя и средняя части разреза отличается повышенной лимонитизацией, что позволяет разделить толщу келловей на две части, граница между которыми может проходить по критическому уровню параметров *S* и *Y*.

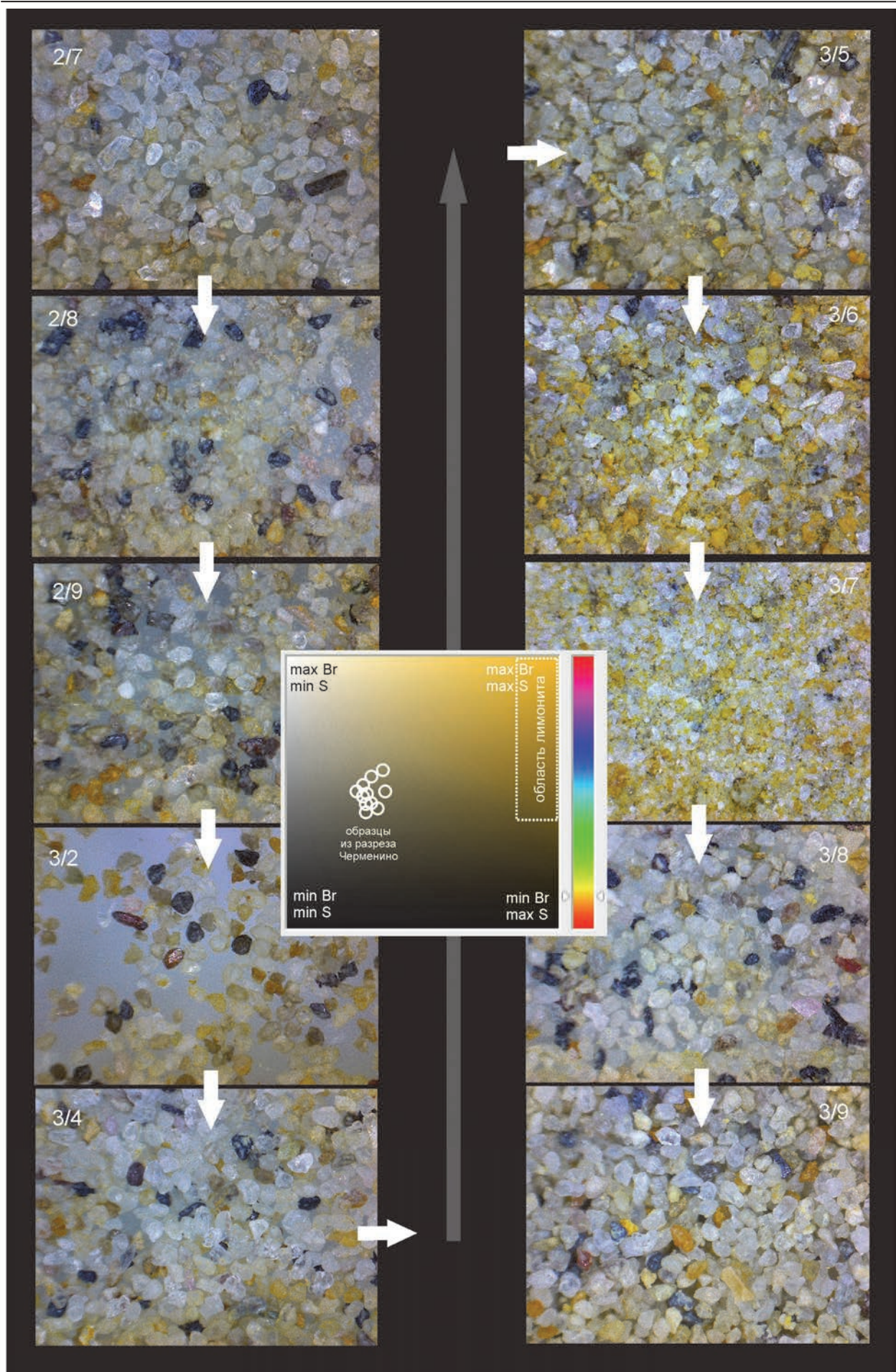
Яркость (Brightness, *Br*) или значение, величина цвета (Value, *V*) – параметр из цветовой модели HSB (HSV), означающий, насколько данный цвет отклоняется от черного. Минимальная яркость, равная 1, означает полностью черный цвет, максимальная, равная 100 – полное отсутствие черного. Цвет с *Br*=100 может быть как белым (минимальное *S*), так и спектральным с максимальным *S*.

Яркость осадочной породы определяется, с одной стороны, содержанием минеральных хроматофоров черного цвета или других темных цветов, а с другой – полутоновыми оттенками объемных минеральных зерен (только для обломочных пород). Если гранулометрический состав обломочной породы примерно одинаков по всему разрезу, то вторым фактором можно пренебречь.

Кривая яркости в разрезе Черменино характеризуется единственным критическим уровнем в слое 3/6, совпадающий с критическими значениями *N*, *S* и *Y* (рис. 1, А). Следовательно, яркость на данном уровне зависит от этих параметров. Последние, как было показано, определяются содержанием лимонита. Однако, другим критическим уровням по этим параметрам (3/4, 3/5) кривая яркости не соответствует, поэтому корреляция между яркостью и *N*, *S* и *Y* существует лишь в отдельных интервалах разреза. Это означает, что яркость на уровне 3/6 зависит и от других факторов.

В целом яркость пород разреза хорошо коррелируется с красным (*R*) и зеленым (*G*) – прямо пропорционально, и с сине-зеленым (*C*) и пурпурным (*M*) – обратно пропорционально, с коэффициентом корреляции выше 0,9. Это означает, что в области

Рис. 2. Микрофотографии песка фракции 0,08 мм из разных интервалов келловей разреза у д. Черменино, расположенные в стратиграфической последовательности расположения слоев (обозначено стрелками). Увеличение 200. В центре - диаграмма цветового пространства (Photoshop), на которой показан цвет породы каждой пачки (белыми кружками) и цветовая область чистого лимонита.



критического уровня 3/6 цвет породы в большей степени определяется красным и зеленым цветом, а в нижней и верхней частях разреза дополнительное влияние оказывает синий и пурпурный.

Гранулометрический анализ позволяет выявить особенности литологической толщи, которые могут в той или иной степени дополнить и объяснить рассмотренную картину распределения параметров цвета (рис. 1, В,Г).

Полученные гранулометрические фракции четко делятся на две дискретные группы: псаммитовую (фракции 0,5; 0,4 и 0,2 мм) и алеврито-пелитовую (фракции 0,14 мм и меньше), естественная размерная граница между которыми находится в интервале 0,2-0,14 мм. Обе группы находятся в обратной корреляции друг к другу, что, вероятно, определялось различным гидродинамическим режимом их образования. Наиболее выраженная оппозиционная динамика наблюдается между доминирующими фракциями 0,2 и 0,14 мм. Остальные фракции, не превышающие 20%, лишь в общих чертах повторяют оппозиционную картину.

Псаммитовые фракции уступают по содержанию алевро-пелитовым в большей части разреза (в нижней и верхней части), но в середине разреза доминируют. Здесь, в интервале пачек 3/5-3/7 наблюдаются критические уровни для всех фракций.

Интервал критических уровней в наибольшей степени соответствует пику яркости (Br) в разрезе, причем прямая корреляция наблюдается между яркостью и содержанием псаммитовых фракций, в первую очередь 0,2 и 0,4 мм. Это означает, что гранулометрический состав *влияет* на цветность обломочной породы. Вероятно, причинная связь между этими признаками состоит в том, что псаммитовые фракции содержат больше кварца, нежели глинистых минералов. В частности, во фракции 0,2 мм кварц составляет в среднем 98% всех зерен, и только в самом низу разреза (пачка 2/7) - 89%. Очевидно, преобладание кварца дает увеличение яркости, в то время как пелитовые минералы, чья доля возрастает в мелкозернистых фракциях, способствует уменьшению яркости.

Другие параметры цветности породы так же зависят от гранулометрического состава. Например, содержание сине-зеленого (С) прямо пропорционально содержанию алевро-пелитовой фракции 0,14 мм ($R^2=0,697$) и обратно пропорционально псаммитовой фракции 0,2 мм ($R^2=0,625$). Это позволяет полагать, что в алевро-пелитовых фракциях повышено содержание глинистых минералов, вследствие чего значение синего цвета в них увеличено.

Выводы

Сопряженный анализ колориметрических и гранулометрических признаков в разрезе Черменино позволяет дифференцировать толщу келловейских песков на три части: нижнюю (от подошвы до слоя 3/4); среднюю (слои 3/5 – 3/7) и верхнюю (от слоя 3/8 до кровли). Средняя пачка содержит большинство критических уровней, максимум которых приходится на слой 3/6. Она сильно отличается от нижней и верхней частей следующими признаками: преобладанием более крупнозернистых фракций, повышенной яркостью (Br) и насыщенностью (S) цвета, который сдвинут в область желтой части спектра (H). Минералогический состав характеризуется преобладанием кварца по сравнению с верхней и нижней частью разреза, и увеличением доли лимонита. Последнее заметно в алевро-пелитовых фракциях (0,08 и менее 0,08 мм), где максимум лимонита приходится на слои 3/6 и 3/7 (рис. 2).

Также средняя часть разреза отличается наличием косої слоистости и резким обеднением фоссилий, даже бентоса, но особенно пелагической фауны. Последнее хорошо заметно на фоне обилия темпеститовых ориктоценозов по всему интервалу нижней и верхней части разреза.

Все вышеперечисленные признаки позволяют предполагать, что средняя часть разреза была сформирована в более мелководных условиях, нежели нижняя и верхняя части. Следовательно, максимум обмеления должен был приходиться на время образования слоя 3/6 – конец фазы Enodatum, т.е. на рубеж раннего и среднего келловей. Эта граница – вероятный эвстатический минимум для данного временного интервала. Соответственно, слой 3/6, наиболее критический уровень в разрезе, можно рассматривать как границу между регрессивной и трансгрессивной сериями. Первая включает в себя нижний келловей от зоны Koenigi (начиная с подзоны Curtilobus) до кровли зоны Calloviense и подзоны Enodatum, вторая – кровлю подзоны Enodatum и средний келловей, в полном объеме зон Jason (только в разрезе Черменино) и Coronatum (наблюдается в разрезе Бурдово в том же Кологривском районе (Киселев, 2001)).

Положение данного эвстатического минимума хорошо согласуется с различными глобальной и региональными эвстатическими кривыми (Haq et al., 1988; Hallam, 1988; 1990; Захаров и др., 1998 и др.).

Немаловажно, что найденная граница между секвенциями определена в непрерывном разрезе с монотонным строением, в интервале с наименьшим проявлением дискретных признаков, доступных наблюдению при натурном изучении. Обычно такие «немые» интервалы располагаются внутри

секвенции. Это свидетельствует о достаточно высокой разрешающей силе «хромостратиграфического» метода в распознавании седиментологических событий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-05-00380.

Литература

- Захаров В.А., Шурыгин Б.Н., Левчук М.А. и др. Эвстатические сигналы в юрских и нижнемеловых (неокомских) отложениях Западно-Сибирского осадочного бассейна // Геол. и геофиз. 1998. Т. 39. № 11. С. 1492-1504.
- Киселев Д.Н. Зональные и подзональные аммонитовые комплексы среднего келловея Центральной России // Проблемы стратиграфии и палеонтологии мезозоя. Научные чтения посвященные памяти М.С.Месежникова. Санкт-Петербург: ВНИГРИ, 1999. С.109-129.
- Киселев Д. Н. Зоны, подзоны и биогоризонты среднего келловея Центральной России // Спец. вып. трудов ЕГПУ. 2001. N 1. 38 с.
- Самодуров В.П. Методы количественной литологии для корреляции разрезов и изучения рудных тел // Материалы Университетских чтений, посвященных 100-летию со дня рождения З.А. Горелика, 4-5 апреля 2008 г. Минск: БГУ, 2008. С. 31-34.
- Hallam A. A re-evaluation of Jurassic eustasy in the light of new data and the revised Exxon curve // Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications. 1988. V.42. P. 261-273.
- Hallam A. Biotic and Abiotic Factors in the Evolutions of Early Mesozoic Marine Mollusks // In: Ross R.M., Allmon W.D., (eds.). Cause of Evolution. A Paleontological Perspective. Chicago: University Chicago Press, 1990. P. 249-260.
- Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change // Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications. 1988. V. 42. P.71-108.
- Lepisto L. Colour and texture based classification of rock images using classifier combination. PhD thesis. Tampere, 2006. 73 p.
- Lepisto L., Kunttu I., Autio J., Visa A. Comparison of Some Content. Based Image Retrieval Systems with Rock Texture Images // Proceedings of 10th Finnish Artificial Intelligence Conference, Oulu, Finland, Dec. 16-17, 2002. P.156-163.
- Munsell A.H. A Pigment Color System and Notation // The American Journal of Psychology. 1912. V.23. no.2. P.236-244.
- Nagano T, Nakashima S., Nakayama S. et al. The use of color to quantify the effects of pH and temperature on the crystallization kinetics of goetite under highly alkaline conditions // Clays and Clay Minerals. 1994. V.42. no.2. P. 226-234.
- Vosselman G., Gorte B.G.H., Sithole G. et al. Recognising structure in laser scanner point clouds // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2004. V.46, Pt. 8/W2, P.33-38.
- Motoki A., Vargas T., Neves J.L.P. et al. Quantitative analysis of rock and mineral surface color for instrumental and semi-ornamental rock using image scanner // Geociências. 2003. V.32. P.12-22.
- Motoki A., Petrakis G.H., Soares R. et al. New method of semi-automatic modal analyses for phenocrysts of porphyritic rocks based on quantitative digital colour specification technique // Geociências. 2007. V.60. no.1. P.13-20.
- Wyszecki G., Stiles W. S. Color Science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Canada, 1982. 76 p.